

古賀逸策「水晶振動子」IEEE Milestone認定 記念講演会

講演

水晶振動子のIEEEマイルストーンと 情報通信の発展

東工大発の「温度無依存水晶振動子」 IEEE Milestoneに認定

東工大で生まれた水晶振動子は、小型化されつつ今やあらゆる電子機器に組み込まれ、デジタル社会を支えています。古賀逸策博士らの努力が実ったのは今から85年程前の1932～33年にかけてですが、意外なことに昭和初期の不況が追い風になりました。この度、古賀の「温度無依存水晶振動子」が社会や産業に多大な貢献をした歴史的な業績として、IEEE Milestoneに認定され、プラークが贈呈されました。記念式典や記念講演会の様子をお伝えします。古賀らの仕事に関する理解と母校に寄せる思いが深まれば幸いです。



申請の準備

2013年夏に古賀逸策博士関連の資料が日本水晶デバイス工業会から本学に寄贈されたのが契機になり気運が高まりました。IEEE Milestoneは申請に基づいて、審査・選定されますので、13名からなる準備委員会が組織され、前学長の伊賀健一委員長のもと、2年かけて申請書を作り上げました（2014.2～2016.1）。英文草稿をDavid Stewart教授に見て貰い、西澤台次委員が中心となってWeb経由で申請しました。準備に万全を期した甲斐あってか、比較的短期間で審査が終了しました。申請の段階では、古賀博士のライバルだった人たちに配慮し、R₁カット（講演No. 2参照）のみを認定対象としていたのですが、審査担当者の方からR₂も含めていいのではないかと提案があり、プラークには最終的にR₁とR₂カットの両方を記すことになりました。

贈呈式

2017年3月6日に百年記念館のフェライト記念会議室で贈呈式が行われました。最初に、IEEE東京

支部の笹瀬巖Chairから「…日本で最初のIEEE Milestoneは“八木・宇田アンテナ”で、最新のものは、つい先日贈呈式が行われた本田技研工業(株)の



贈呈式の様子（上）、笹瀬Chair（下左）、プラークを手にしたBartleson CEOと三島学長（下右）

“地図型カーナビ”です。今回の“温度無依存水晶振動子”は日本では31番目となります。古賀博士の発明は現代の情報通信技術を支えている重要なもので、この度の認定を東工大の皆さんと共に喜びたいと思います。伊賀前学長を中心とする申請準備委員の方々のご努力にも敬意を表します…」という趣旨の挨拶がありました。

続いて、IEEE会長のKaren Bartleson CEOから「…ICTに欠くことのできない温度無依存水晶振動子が生まれた東京工業大学を訪れることができ感慨深いものがあります。今回の認定は、世界では173番目のIEEE Milestoneになります（これまでの中から特徴的な数例が紹介された）。偉大な業績とそれを成し遂げた人々を認定し、プラークを贈呈できますことは私にとって幸運なことです…」と挨拶があり、三島学長にプラークが贈呈されました。

最後に、三島良直学長が「…東工大発の温度無依存水晶振動子がIEEE Milestoneに認定され大変嬉しく思います。東工大にとっては、これがフェライトに次ぐ2つ目のMilestoneとなります。比較的短期間で認定されたのは、準備委員会のご努力のお陰です。（古賀の経歴と業績と研究競争が簡単に紹介された後、本学の改革にも触れられた）。現在進行中の大学改革によって古賀に続く人材を輩出していきたい。IEEEの長い歴史と社会貢献に敬意を表します。…」と謝辞を述べ、記念写真の撮影となりました。

記念祝賀会

来賓の方々（写真）が次のようなエールを送って下さった。

IEEE Japan Council Chair 津田 俊隆 様

古賀博士の温度無依存水晶振動子は最も基本的な素子の一つで、ほぼすべてのICT機器に組み込まれ、“Rice of industry”と呼ばれています。アジア・太平洋地区でIEEE Milestoneを有するのは、日本とインドのみです。私は、古賀博士が東大を兼任されていた時（後に専任）の流れを汲む高木・尾上の両教授の講義を聞きました。とても興味深かったのですが、最終的には別の分野に進み、産業界とアカデミアの両方に身を置きました。そのような経験から、古賀博士の仕事は産学連携の典型例だとの思いを強くし、同様の例が続くことを願っています。

文部科学省 研究振興局長 関 靖直 様

古賀博士の歴史的な発明とその舞台となった東工大に賛辞を送ります。文科省としても大学の研究基盤の強化に腐心していますが、そのような中で、現在東工大で大きな改革が進められていることに期待しています。有為な次世代の人材を多数輩出されま

日本水晶デバイス工業会会長／日本電波工業 ㈱ 会長兼社長 竹内 敏晃 様

日本の水晶デバイス製造企業とユーザー企業を代表して、お祝いを申し上げます。国内では年間約38億個が生産されています。35年前（1982）と比較して30倍にも伸びています。古賀博士の発明がなかったら、私たちはスマホ・PC・TV等を楽しむことは出来なかったのです。今日の快適な生活は古賀博士の水晶振動子の上に成り立っているのです。

KDDI ㈱ 代表取締役社長 田中 孝司 様

（代読：理事・技術開発本部長 宇佐見 正士 様）

この度のIEEE Milestoneは、栄えある東工大の歴史に新たな一頁を加えるものと思います。KDD（KDDI前身）は古賀博士の発明によって多大な恩恵を受けました。1950年代の国際電話は短波通信でしたが、発振器の周波数をいかに安定させるかが大きな問題でした。これを解決してくれたのが、古賀博士が設計した水晶時計KQ1（周波数標準器、博物館2階に常設展示）でした。古賀博士は東工大から東大に移り、東大を定年になった後、KDDの研究所で15年程仕事を続けられました。「よく考え、熱心の実験し、誰でもわかるように単純明快に説明できるようにしなさい」とよくおっしゃっていました。

橋本元一 蔵前工業会副理事長（NHK元会長）（S43電子）の発声で乾杯し、歓談となりました。小分けされた料理が評判で式典に花を添えました。



来賓の方々（左から）津田・関・竹内・宇佐美（右上）橋本、敬称略

講演 1

「IEEE Milestone の概要」

白川 功 (阪大・電子工学1963, Dr.68)

IEEE Japan Council History Committee Chair,

兵庫県立大学特任教授, 大阪大学名誉教授

IEEEは、電気電子分野の世界最大の専門家組織で、会員数は42万人を超えている。日本人会員は約1万4千人。IEEE Milestoneは、開発から25年以上を経過し、社会や産業の発展に多大な貢献をした電気・電子・情報・通信分野の歴史的業績を認定する制度だ。優れた技術とそれを生み出した技術者に光を当てることにより、社会一般の関心と理解が深まることを期待して、1983年に創設され、2000年に現在名に改称され今日に至っている。



IEEE Milestoneは、IEEE会員からの推薦に基づいて、各支部が申請し、最終的にIEEE History Committeeが選定する。必ずしも世界初である必要はないが、卓越した技術であることに加え、人類社会に大きな貢献をしたことが評価の対象となる。現在のところ最も古いMilestoneは、Benjamin Franklinの本“Experiments and Observations on Electricity (1751)”となっている。2017年3月現在で、171件が認定されており、そのうち日本は33件で、米国の81件に次いで2番目に多い。

IEEE Milestoneに認定されると、その業績を記した銘板 (Plaque) が贈呈され、ゆかりの地に展示される。例えば、ボルタの電池 (1799) の銘板はミラノのコモ湖畔にあるボルタ博物館 (ボルタはコモの出身) とボルタが教授を務めたPavia大学に展示されている。



講演 2

「古賀逸策の水晶振動子とマイルストーン」

伊賀 健一 (S38電43博)

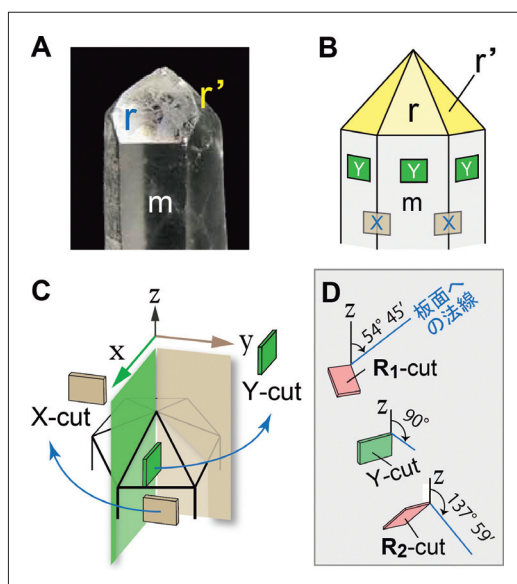
東京工業大学 名誉教授・前学長

古賀研究室は本館時計台にあったが、今は消防法で定める2方向の避難路が確保できず、使われていない。今回のMilestone認定は、本学にとってはフェライトの発明 (加藤與五郎・武井武) に次ぐ第2のMilestoneとなる。これら二つは日本では既に電気学会の「電気の礎」として顕彰されている。本講演では、古賀先生が如何にして温度係数がゼロの水晶振動子に辿り着いたかが紹介された。



＜温度係数ゼロへの道のり＞

古賀先生は佐賀県に生まれ、東京帝国大学で電気工学を専攻した。丁度、水晶振動子とそれを用いた発振回路が提案されたところで、指導教官の勧めで水晶の研究に着手した。水晶振動子の基本原理 (圧電効果, Piezoelectricity) の発見は、本学の創設 (1881) とほぼ同じ頃 (1880~1881) にキュリー兄弟 (弟は放射線の研究でキュリー夫妻としても有名) らによってなされたが、電圧をかけた時の水晶板の振動は温度に大きく左右された。すなわち、温



(図 1)

度が上がると振動数が小さくなるという負の温度係数を有していた。

キュリー兄弟が用いた水晶板は、yz面に平行に切り出されたもので、法線がx軸に平行ゆえ、Xカットとよばれていた(図1)。研究者は、50年近くもの長い間、漠然とこのXカット以外は振動しないと思い込んでいた。古賀先生が本学に助教授として赴任して間もない頃(1929)、不況下で仕事が減った会社(明電舎)の技術員を預かることになった。その技術員はまだ不慣れだったので、古賀先生から頼まれたXカットの要領を得ず、通常とは異なった角度で切り出した水晶板(xz面に平行な板、法線がy軸に平行ゆえYカット)を作ってしまった。失敗作かと思いつつも試してみると、驚いたことに、しっかりと振動した上に、温度を上げると振動数が増えるという正の温度依存性を示した。こうなると温度係数が負のXカットと正のYカットの間に、温度係数がゼロになる点があるに違いないと思える。しかし、いくら角度を変えて試してみても、そのような向きは見つからなかった。

z軸に平行なXカットやYカット以外にも、水晶の結晶表面に現れている面 r (正主菱面) や r' (負主菱面) に並行な板を切り出して実験してみたが、どれもうまくいかなかった。いずれも板の厚みに反比例した振動数で発振したが、その振動の特性がよく分らなかった。そこで古賀博士は、やみくもに探しても徒労に終わると考え、理論的なアプローチをとることにした。最終的に厚み振動においては、水晶板内の各点の運動は、その点から板面までの距離と時間のみの関数で表されとの着想に基づいて、異方性結晶の3次元方程式を立てることに成功した。その式から温度係数がゼロとなる切り出し面が存在することが予測できたので、実験で確かめた[1932.6.18特許出願, 1932.8, 1933.4 & 1933, 10.10論文発表]。方程式の解は2つあり、古賀は R_1 カット及び R_2 カットと命名した。

古賀グループとは独立に、少し遅れてではあるがほぼ同時期に、次のような研究がなされていた。(1) 明昭電気の依田博らが、実験的アプローチによって R_2 カットに到達していたこと[1933.2.18特許出願]、(2) ドイツTelefunken社のR. Bechmannが古賀の振動方程式を引用しつつ、ゼロ温度係数カットを予想した論文を発表したこと[1933.10.20]、及び(3) 米国Bell研究所のLack, Willard, & FairのグループがYカットをX軸の周りに回転させることにより、 R_1

& R_2 カットと等価なAT & BTカット板に到達していた[1934.7論文発表]。

伊賀先生の話聞きながら、キュリー兄弟による結晶の圧電効果の発見はまさしく天才のなせる業だが、厚み振動が平面波によることを明らかにした古賀博士の理論的アプローチも天賦の才の賜物だった。

講演 3

「水晶から光通信まで—東工大における通信の研究」

持続振動電磁波時代の通信

末松 安晴 (S30電35博)

東京工業大学 名誉教授・元学長

I 東工大における通信技術の研究全般

東工大は電気通信分野で多大な貢献をしてきているが、その中から電気情報通信学会の業績賞に選ばれた仕事が紹介された。ここでは専門的な話は割愛し印象に残った余談のみ記す。◆古賀先生の授業は、チョーク1本の他は何も持



って来ないで、黒板に向かって方程式を解くというスタイルだった。定年を間近にひかえた古賀先生のアドバイスは、「長く続けられる研究をなさい」だった。◆マイクロ波の森田先生は、歌舞伎が好きで、そのしぐさから二重反射板を着想した。規律を重んじる人でもあり、朝少し遅めに出勤して電話を取ると「末松君、今日はこれで3度目の電話だぞ」と暗にプレッシャーをかけられた。◆末武・内藤先生の電波吸収壁はステルス機などに使われており、関口・後藤・安藤先生のアンテナは人工衛星に載って宇宙にまで行っている。◆電子回路では川上・岸先生の流れがある。川上先生の本はベストセラーとなり、15万部も売り上げた。日本の電気工学者で読んでいない人はいないだろう。岸先生には、「いい加減な本を読んでもダメだ! Maxwellの『電磁気学』を読むように」と勧められ、神田で1000頁もある古本を手に入れて読み始めたら、学科の教授連に「百年も前の本を読んでいる時代錯誤の男がいる」と揶揄された。◆大

御所の末松先生ですら、最近の若い人たちの研究をフォローするのが大変なほど、情報通信分野の進歩は目覚ましいようだ。

II 大容量長距離光ファイバ通信の半導体レーザの研究

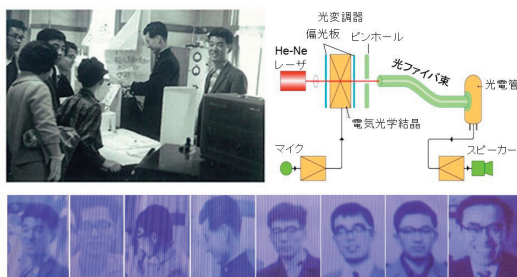
動的単一モードレーザの開発

末松グループは、光ファイバ通信に最適な半導体レーザを実現した。そのレーザは、光ファイバ内での損失が最小となる波長（ $1.5\mu\text{m}$ ）の光を発し、かつ高速変調時に波長変動を抑制できるという優れたもので、インターネットをはじめとする情報ネットワークを支える大容量長距離光ファイバ通信を可能にした。技術的難関をいくつも乗り越えて達成した偉業が、苦労を共にした仲間の顔写真入りで丁寧に紹介された。会場には、自分の若かりし日の写真を見て学生時代の苦労と達成感を懐かしく思い出した関係者も多くおられたに違いない。

III 大岡山-長津田キャンパス間情報伝達システム

大岡山と長津田（現すずかけ台）の両キャンパスを光ケーブルでつなぎTV会議やTV講義が出来るようにする計画が持ち上がった（1981）。ケーブルは東急の好意で線路沿いに敷設できることになった。当初は安価なマルチモード方式を採用する方向で検討が進んでいたが、末松先生が単一モード光ファイバシステム（当時は $1.3\mu\text{m}$ ）を強く主張し、最終的に高性能な単一モード方式が採用された。マルチモードの場合は、中継点が3ヶ所（二子玉川、たまプラーザ、長津田）も必要になるが、単一モードならば信号ロスが少なく、増幅のための中継点は不要だった。20年近く（1983～2003）働いたところで、後継システムに道を譲り、今は百年記念館（博物館）の地下1階に一部（光端局装置NEC 400M, 1号機）が展示されている。

世界初の光ファイバ通信実験が行われた全学祭（1963.5.26）



講演 4

「AI・IoT・ビッグデータ、豊かな人間社会に向けて」

遠藤 信博（S51電子56博）

日本電気株式会社 代表取締役会長



水晶振動子は情報通信技術（ICT）の発展に大きく貢献してきた。水晶振動子のお陰で、時を正確に刻めるようになった結果、通信に使う周波数を上げ、大量の情報が扱えるようになると共に、ICT機器の同期が容易になり、ネットワークを介したリモートセンシングとネットで繋がった機器の遠隔制御（IoT, internet of things）が実現した。水晶振動子の生産量（国内：毎月約3億個、世界市場の約50%）からも、水晶振動子は、今日のほぼすべてのICT機器に組み込まれていることを窺い知ることができる。

最近話題になっている人工知能（AI）やビッグデータを含めたICTが、人間社会にどのような貢献ができるのか。2050年の地球を考えると、都市人口が2倍近くに膨れ上がっていると言われる。水・食糧・エネルギーもそれに見合う分を供給しなければならない。都市の上下水道・物流・送電設備等をわずか30数年で倍増するのは難しいだろう。一方、日本に限れば、2050年には人口は7割近くに減り、税収も同程度に減るだろう。その限られたお金で現在のインフラを維持するのは容易ではない。持続可能な社会を築くためには、社会の仕組みや生活を柔軟に変化させて、有限な地球資源を効率的に利用しなければならない。それ故、NECはデジタル（AI）の力で未来を切り拓く試み（社会ソリューション事業）に注力しているとのことだった。

幸い、AIを支える基盤技術は急速に進歩している。ここ20年間で、コンピュータの処理性能は57万倍、モバイルネットワークの伝送速度は10万倍、デジタルデータ量は6,500倍（44兆GB）と驚異的に増大している。大量のデータを集めて高速で処理できるAIの環境が整ってきたことになる。

AIが拠って立つICTの力の根源は、リアルタイム性、変化に対応してソリューションを提供できるダイナミック性、空間の制限を超えるリモート性にある。高

度なソリューションを、誰もが通信ネットワークを通じて受けられることを可能にするリモート性は、人間社会における公平性を担保する観点で重要だ。

リアルタイム性はAIの価値を高めている。例えば、施設に出入りする人物を監視カメラで識別するには、顔の検出・特徴抽出・照合・認証という高度なプロセスを瞬時にこなす必要がある。NECの高並列処理技術は、あるシステム環境下において100名近い人物の顔を識別するのに、従来の並列処理技術では30秒近く要したものを、わずか0.4秒に短縮した。こうなると、実際のカメラ画像から探したい人物をリアルタイムに見つけて、次の行動につなげることができるゆえ、セキュリティの未来が変わるだろう。また、混雑環境での異変を検知し的確な避難誘導ができる世界初の「群衆行動解析技術」や、複数の監視カメラ画像から同一人物の行動を特定できる「時空間データプロファイリング」など、ICTを活用した安全・安心な街づくりが実現しつつある。

今後、AIによって“仕事”や“社会”のあり様は大きく変化する。多くの労働がAIにより代替される一方で、人はより人間らしい仕事に注力できるようになり、人とAIが協調することで、革新的なビジネスモデルが生まれ、多くの新しい職業が誕生するだろう。また、人とAIとが協調することで、人間中心の社会が実現し、業種を超えた幅広いAI連携により新たな産業システムが創出されるだろう。

こうしたAIは、古賀先生による温度変化に左右されない水晶振動子の発見の上に成り立っている。そして今後、人々が安全・安心に暮らすことができる豊かな人間社会の実現に向けては、さらなるAI技術の進化だけでなく、AIの時代における倫理観や法制度のあり方や、情報セキュリティのあり方など、幅広い観点から社会価値創造について検討を進めなければならないだろう。



講演 5

「我が国の科学技術イノベーション戦略」

久間 和生 (S47電子49修電物52博)

内閣府総合科学技術・イノベーション会議議員／

元三菱電機 (株) 副社長

古賀博士の仕事を振り返りながら、イノベーションをキーワードに、久間議員が取り組む我が国の科学技術推進戦略が紹介された。



1. イノベーションと経済効果

<水晶振動子の果たした役割>

イノベーションには、強い事業をより強くしていく持続的イノベーションと新たな事業の創出につながる破壊的イノベーションがある。いずれにおいても重要なのは基礎技術・基盤技術であることは論を待たない。パラダイムシフトをもたらした温度非依存性水晶振動子は破壊的イノベーションといえるが、それを可能にした異方性材料の振動方程式を自分で解くところはまさしく基盤技術だ。持続的イノベーション、破壊的イノベーション、及びそれらを生み出す基盤技術のどこに重きを置くかは、企業と国の施策では異なってくるが、3者のバランスを常に念頭に置かなければならないことは確かだ。

イノベーションは内容的に次のように3つに分けて考えると分り易い：(1) 蛍光灯がLED照明に変わるようなプロダクトイノベーション、(2) 3Dプリンターによるものづくり等のプロセスイノベーション、(3) 新興市場の開拓などのマーケットイノベーション。古賀博士の水晶振動子はプロダクトイノベーションの典型であり、デジタル革命の原点・立役者である。水晶の価値を工芸品から“産業の塩”にまで高めたといえる。

「なぜ古賀が開発に成功したのか？」については、目的を明確にした基礎研究だったからという側面を忘れてはならない。当時は無線通信の安定化という強い社会的ニーズがあり、広い温度範囲で安定に作動する水晶振動子が求められていた。ニーズに対するシーズとして一番大きかったのは、水晶板の切り出し角度によって振動の温度係数が変化するという発見だったと言えよう。

II. 新たなイノベーション創出に向けて

<我が国の科学技術政策とイノベーションプログラム>

イノベーションの創出によってグローバルな産業競争力が強化されれば、国は税収という形で潤い、社会保障・教育・インフラ等の整備に加え、温暖化対策等の施策が打てるし、大学等では先行研究・基礎研究・人材育成に注力できるようになる。産学官の連携の大切さがよく分かるが、今までは必ずしもうまくいっていなかった。この反省をもとに立てられたのが、第5期科学技術基本計画（2016～）で、先ず、日本のあるべき将来の姿として『超スマート社会』（Society 5.0）を提示し、そこに向かってどうアプローチするかを描いている。第4期までは官と学が中心だったが、第5期では産業界が中心になり産学官体制で進める点に特徴がある。科学技術の成果を社会実装することで、産業競争力を強化し社会に貢献することを目指すことにしたのだ。

質問で厳しい指摘があったように、国家主導の5か年計画は成功したためしがなく、国家の衰退につながることは歴史の教訓だが、今回は産業界が前面に出るかたちの産学官連携を模索しているので期待して欲しい。資金面では国がGDPの1%、産業界が3%、合せて4%に増額することになっている。

日本の強みだったものづくり産業をより強くするとともに、現在は劣勢ぎみのサイバー・フィジカル・システム（Cyber physical system, 実空間とサイバー空間を統合したシステム）をベースにしたシステムサービス事業を強化することが産業界に必要となっている。

『超スマート社会』（Society 5.0）の実現に向かって邁進するためには、省庁間の壁を取り払い、課題解決に果敢にチャレンジしなければならない。そのために立ち上げられたのがSIP（戦略的イノベーション創造プログラム）とImPACT（革新的研究開発推進プログラム）だ。久間議員はSIPのガバナリングボード議長を務めている。基礎研究から実用化まで一気通貫で持続的イノベーションを創出するのがSIPで、成功率は高い。これに対し、ImPACTは破壊的イノベーションを目指している。失敗するかも知れないが、成功したら産業や社会に大きなインパクトをもたらすものだ。いずれのプログラムにおいても、本格的な産学官連携が成否の決め手になるだろう。

申請準備会メンバー：伊賀健一、小野田真穂樹、倉持内武、大浦宣徳、桃崎英司、西澤台次、恩田寿和、岡本 明、亀井宏行、広瀬茂久、遠藤康一、阿兄雄之、道家達将

文責：特命教授、博物館資史料館部門長
広瀬茂久（S45化50博）

